



Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia



PROJETO DE PESQUISA CIENTÍFICA

Avanços e detalhamentos hidrogeológicos e espeleológicos para fins de proteção ambiental na região cárstica da bacia do rio São Miguel, município de Pains/MG

Resumo

Regiões cársticas são ótimos reservatórios de água de boa qualidade, pois a dissolução de rochas solúveis gera redes de condutos ou cavidades cársticas permeáveis formando aquíferos cársticos. Uma das características desses aquíferos é a vulnerabilidade à contaminação devido ao rápido fluxo da água, sem tempo suficiente para degradações do contaminante, resultando na quase imediata contaminação do recurso hídrico. A bacia do Rio São Miguel, município de Pains/MG, em região cárstica, é caracterizada por alterações qualitativas de águas superficial e subterrânea por coliformes termotolerantes, altos teores de fósforo, nitrato e cádmio, principalmente a jusante de Pains. Essas alterações são ocasionadas por agentes contaminantes provenientes do uso do solo, como mineradoras, agricultura, pecuária e urbanização, coincidindo com regiões mais vulneráveis a contaminações subterrâneas, já mapeadas na parte central da bacia. A bacia possui estudos anteriores sobre rotas, circulação e conexões de fluxo d'água, porém, todas elas na região sul e sudeste da bacia. As regiões norte e nordeste, de mesma importância, localizadas em áreas igualmente carstificadas, carecem de avanços no entendimento dos comportamentos hidrogeológico e espeleológico. Assim, propõe-se um estudo regional associando traçadores (fluoresceína sódica e a rodamina WT), isótopos estáveis (oxigênio 18 e deutério em águas pluviais, superficiais e subterrâneas) e da evolução temporal de hidrogramas/quimiogramas de nascentes cársticas para identificar novas rotas de circulação e interconexões entre águas superficiais e subterrâneas, e estimar graus de carstificação do aquífero. Os resultados da pesquisa servirão de base para ferramentas de gestão de recursos hídricos da região e planejamento da ocupação do solo, bem como para refinamento do mapeamento da vulnerabilidade natural do aquífero à contaminação, a fim de proteger os mananciais subterrâneos e superficiais para os diversos usos da população.

Contextualização e Justificativa

A bacia do Rio São Miguel apresenta áreas de densidades urbanas referentes a Pains e Arcos, onde o abastecimento público tem como fonte principal o aquífero cárstico local que, devido à sua heterogeneidade, se tornam complexos estudos relacionados ao fluxo e qualidade da água. Pesquisas realizadas na região indicam alterações qualitativas via contaminações pontuais por coliformes termotolerantes, altos teores de fósforo, nitrato e cádmio, e baixos níveis de oxigênio dissolvido em trechos a jusante de Pains, assim como contaminação microbiológica ocasionando casos de esquistossomose no trecho médio do rio (Haddad, 2007). Com a predominância de paisagens com campos de pecuária, agricultura e mineração, a substituição da vegetação natural por estas áreas provocou a devastação de parte da vegetação de topos e de encostas (Haddad, 2007), aumentando a vulnerabilidade do aquífero na região. Estudos realizados pela Sociedade Excursionista e Espeleológica, IBAMA, Ministério Público Federal e UFOP definiram as áreas ambientalmente mais sensíveis a contaminações antrópicas (Projeto Arcos Pains Espeleologia - SEE, 2012). Essas áreas sensíveis, importantes para equilíbrio ecológico, passam por impactos ambientais adversos, advindos de empreendimentos minerários, agropecuários e da ocupação urbana. Estudo mais recente mapeou os graus de vulnerabilidades naturais do aquífero cárstico quanto à contaminação, indicando que a parte central da bacia, onde localiza-se a maioria desses empreendimentos e áreas urbanas, está entre as regiões mais vulneráveis (Pereira et al. 2019).

A partir dessas questões, é importante um estudo mais global na bacia para identificar novas rotas e velocidades de circulação e conexões entre águas superficiais e subterrâneas, bem como estimar graus de carstificação do aquífero. A aplicação de traçadores associada a estudos de isótopos ambientais e análises

de hidrograma e quimiograma de nascentes respondem a essas questões. No caso de ensaios com traçadores, trata-se da injeção de compostos orgânicos, atóxicos nas concentrações utilizadas, sendo os mais usados a fluoresceína sódica e a rodamina WT, em pontos estrategicamente selecionados em campo (poços, condutos em cavernas, sumidouros etc.) e medidos via detectores de corantes em pontos a jusante de descargas de fluxos subterrâneos (nascentes, surgências etc.). Os isótopos ambientais, Deutério (^2H ou D) e Oxigênio 18 (^{18}O), são considerados traçadores naturais em águas superficiais e subterrâneas e podem indicar proveniências, áreas de recargas e idades relativas de um aquífero (Clark e Fritz, 1997). No caso de hidrogramas, são analisadas curvas de recessão de nascentes para estimar graus de carstificação entre a entrada (sumidouro) e a saída (nascente) do sistema aquífero (Mangin, 1970; 1975), enquanto que quimiogramas analisam evoluções temporais físico-química ou hidrogeoquímicas em nascentes (de apenas um evento chuvoso, ou de um ano hidrológico) para determinar estágios de dissolução, infiltração do aquífero e conexões hidráulicas (Kovacic, 2010).

A partir de novos conhecimentos do comportamento global da região, será possível entender com mais detalhe as conexões hidráulicas entre todos os sistemas cársticos da bacia, sobre velocidades e direções de fluxo subterrâneo e indicações de rotas delas; e as respostas das nascentes cársticas referentes a eventos chuvosos, indicando graus de carstificação e volumes de reservas subterrâneas. A integração global dos dados refinará em definitivo o mapa de vulnerabilidade à contaminação do aquífero cárstico, possibilitando incluir rotas de fluxos e velocidades de circulação de possíveis plumas de contaminação. Ademais, o mapa de zonas de riscos à contaminação será desenvolvido, com recomendações de gestões preventivas dos recursos hídricos e espeleológicos a fim da sustentabilidade desses bens a proteger.

Objetivo

Avançar no entendimento global da bacia do São Miguel quanto a mecanismos hidrogeológicos e espeleológicos sobre carstificação, fluxo e transporte hídricos e vulnerabilidade intrínseca cárstica para uma gestão integrada para fins de proteção ambiental dos recursos hídricos e espeleológicos.

Objetivos específicos

- Mapeamentos geológico-estrutural e espeleológico, escala 1:25.000 da bacia toda, a fim de detalhar e atualizar áreas que foram constatadas que não condiziam com os mapas de 1:100.000 disponibilizados em órgãos públicos.
- Em sistemas cársticos, a partir de testes com traçadores fluorescentes, determinar velocidades médias de fluxo da água subterrânea, níveis de sinuosidade dos condutos, e taxas de dispersões de traçadores para modelos hidrogeológicos cársticos de fluxo e transporte hídricos.
- Leituras mensais de descargas, parâmetros físico-químicos e isotópicos, associadas a leituras diárias de precipitações (de nascentes cársticas), a fim de detalhar mecanismos e taxas de recargas e descargas, graus de carstificação, e quantificar volumes e reservas de águas subterrâneas a partir de hidrogramas e quimiogramas.
- Proposta de um novo método de mapeamento da vulnerabilidade cárstica e de risco à contaminação de aquíferos, que leve em consideração contextos hidrogeológicos e climáticos tropicais, além do método inédito de zonas de densidade de informação, a fim de gerar um mapa de confiabilidade de dados, que direcionará projetos futuros de refinamento de informações.
- Proposta de gestão preventiva integrando recursos hídricos e patrimônio espeleológico a fim de atenuar conflitos entre usuários, resultando em maior sustentabilidade desses bens a proteger.

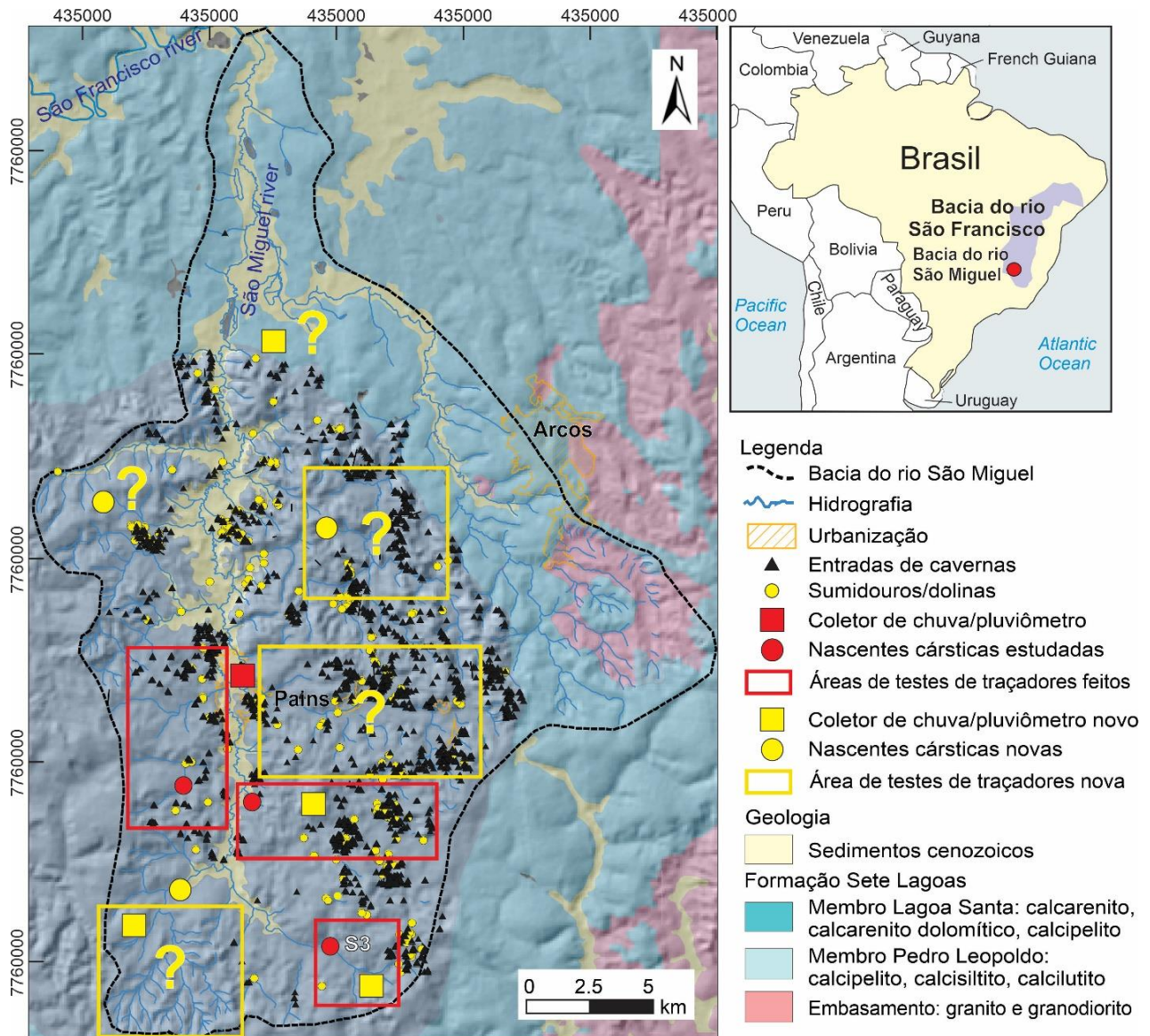


Figura 1: bacia hidrográfica do rio São Miguel/MG, com as áreas estudadas em trabalhos anteriores (círculos, quadrado e retângulos vermelhos) e indicação das áreas a serem estudadas (círculos, quadrado e retângulos amarelos).

Materiais e métodos

A pesquisa é dividida da seguinte maneira: medições mensais, coletas de dados e amostragens de água nos sistemas e nascentes cársticas estudados anteriormente, para detalhamentos e aprimoramento de técnicas; e início, em novos sistemas e nascentes cársticas, dos mesmos procedimentos, replicando-os, para fins complementares e comparativos, para uma completa integração de dados que contemple a bacia como um todo (Figura 1). Seguem as estratégias e técnicas a serem utilizadas:

1) Compilação de dados:

- Consultas de artigos científicos e relatórios técnicos sobre estudos hidrogeoquímicos, isotópicos e traçadores em regiões cársticas, entre outros.
- Visita em instituições para aquisição de documentos, perfis litoconstrutivos de poços e outros.
- Análise de imagens aéreas e de satélite, de mapas geológicos e geofísicos, hidrogeológicos e hidrológicos, e cadastro de feições cársticas a serem organizados em ambiente SIG.

2) Mapeamentos geológico-estrutural e espeleológico

- Trabalhos de campo, de pelo menos 2 meses, para coletas de dados sobre litologia e contatos litológicos, solos expostos, e dados estruturais (falhas, fraturas e dobras). A escala de trabalho será 1:25.000. Em pesquisas anteriores, de diversos órgãos, o mapeamento na região sempre é de 1:100.000.
- Análises de perfis litoconstrutivos de poços com informações complementares sobre espessura de solo, profundidades de contatos litológicos e zonas carstificadas.
- Mapeamento e caracterização de novas entradas de cavernas, sumidouros e dolinas em novos sistemas cársticos. O uso de drone será utilizado para detalhamento das rotas de mapeamento, bem como do detalhamento das curvas de elevações de terreno.

3) Estudos com traçadores fluorescentes:

- Seleção de novos pontos de injeção de traçadores (sumidouros, condutos em cavernas) e de novos pontos de detecção (descargas naturais – nascentes, surgências). Os novos sistemas cársticos estão localizados nas regiões sudoeste, leste e nordeste, verificados na Figura 1.
- Antes dos ensaios, serão amostradas águas para identificar *backgrounds* naturais de fluorescência da região, bem como instalados detectores de carvão ativado (fluocaptadores).
- No primeiro momento, os testes serão realizados pela abordagem qualitativa, para identificar rotas ainda desconhecidas e, posteriormente, será aplicada a abordagem quantitativa dos testes para obter os parâmetros geométricos e hidráulicos do fluxo.
- Os traçadores utilizados serão a fluoresceína sódica e rodamina WT, compostos químicos amplamente usados para tais finalidades e atóxicos nas concentrações adotadas.
- A massa de injeção será calculada pela fórmula sugerida por Goldscheider e Drew (2007). No momento de injeção deve ter abundante água para garantir que o corante seja diluído e não decante na base dos condutos.
- As injeções serão feitas nos períodos chuvoso (novembro a março) e seco (abril a outubro), a fim de verificar mudanças na dinâmica hídrica, como velocidades médias de fluxo, variação do nível d'água, e se há reativações de condutos ou efeitos sifões entre um período e outro.
- Nos pontos de detecção, serão feitos dois tipos de amostragem de água: 1) via amostradores automáticos, coletando amostras em frascos estéreis de 30 ml para depois serem submetidas à análise no espectrofluorímetro de bancada, no IGC-UFMG; e 2) via análises *in loco*, com fluorímetros de campo, para obter curvas de restituição para análise quantitativa.
- A interpretação se dará a partir da comparação entre resultados obtidos na etapa de injeção e valores de *background*. Na análise qualitativa, podem ser identificados resultados positivos e negativos em relação à presença dos traçadores investigados. Se há conexão hidráulica, na análise quantitativa, é obtida a curva de restituição dos traçadores, que é o gráfico de concentração versus tempo, marcando a passagem do traçador, via análise gráfica e modelagem analítica inversa.

4) Análise de hidrogramas e quimiogramas de nascentes:

- Leituras mensais de descargas e parâmetros físico-químicos e isotópicos, associadas às medidas diárias de precipitações de nascentes pré-estudadas (dois ciclos hidrológicos) (Figura 1).
- Seleção de três nascentes complementares mais representativas das regiões ainda não estudadas da bacia, considerando a acessibilidade e segurança, para a instalação de infraestruturas (Figura 1).
- Para essas nascentes, serão instalados vertedouros com transdutores automáticos de leituras contínuas de nível d'água. Para as nascentes estudadas anteriormente, os vertedouros e transdutores já instalados serão reaproveitados.
- Em todas as nascentes, serão feitos monitoramentos a cada 30 min, via transdutor automático pré-programado, da variação de níveis d'água, temperatura e condutividade elétrica. Nas proximidades das nascentes, uma estação meteorológica automática será instalada para coleta de dados a cada 30 min de temperatura, umidade, direções de ventos e precipitação.
- Mensalmente, serão feitas visitas de campo em todas as nascentes para leituras *in situ* de parâmetros físico-químicos (condutividade elétrica, temperatura, turbidez, pH, oxigênio dissolvido, potencial de oxirredução e sólidos totais dissolvidos) utilizando um medidor multiparâmetro portátil.
- Concomitante às medições físico-químicas, amostragens de águas para análises hidroquímicas (íons maiores) e isótopos estáveis (oxigênio-18 e deutério) serão feitas. Ademais, serão feitas leituras mensais de vazão das nascentes com molinetes para, posteriormente, fazer os hidrogramas de cada nascente.

- Os íons maiores serão quantificados no Laboratório de Estudos Hidrogeológicos (LEHID/UFMG), na qual o coordenador do projeto é também coordenador do laboratório. Quanto às análises isotópicas, elas serão feitas no Laboratório de Geoquímica Ambiental do DEGEO/UFOP.
- Todos os dados mensais físico-químicos, de íons maiores e de isótopos estáveis serão considerados para a confecção de quimiogramas representativos de cada ano hidrológico de cada nascentes cárstica.
- Os dados de 30 min da variação de níveis d'água, temperatura e condutividade elétrica, bem como os de meteorologia serão considerados para a confecção de curvas de recessão do hidrograma, e mapas de isoietas de precipitação.

5) Estudos com isótopos estáveis (oxigênio 18 e deutério):

Amostras em pontos representativos da bacia serão analisadas, conforme os procedimentos abaixo:

- Amostras de chuva representando acumulados mensais para análises isotópicas para confeccionar a Reta Meteorica da bacia do São Miguel (RMBSM), de dois anos hidrológicos (Clark e Fritz, 1997). Um garrafão de polipropileno (20 L) com funil na boca será instalado na área. Para manter a temperatura e evitar penetração de luz solar, o coletor ficará dentro de uma caixa térmica. O método segue instruções da Rede Global de Isótopos em Precipitação (GNIP), onde evaporação/perda de isótopos mais leves são negligenciáveis (IAEA/WMO, 2004).
- Amostras de águas de nascentes também serão coletadas mensalmente nas nascentes já estudadas e nas novas, para identificar áreas de recarga e descarga, conexões entre águas superficial e subterrânea e entre diferentes redes de condutos cársticos.
- Os procedimentos de coletas e preservação de amostras evitarão o fracionamento isotópico pós amostragem. Assim, será utilizado âmbar (30 mL) que será completamente preenchido com amostras, evitando bolhas de ar no interior, seguindo procedimentos de Martins et al. (2010). As amostras serão analisadas no Laboratório de Geoquímica Ambiental do DEGEO, no Espectrômetro de Massa com Cromatografia Gasosa (GC-IRMS).

6) Mapas de vulnerabilidade natural e de risco à contaminação do aquífero cárstico:

- Usando como base o estudo de Pereira et al. (2019), será refinado e validado, via ambiente SIG, o mapa da sensibilidade à contaminação cárstica, aplicando, comparando e adaptando para contextos hidrogeológicos e climáticos brasileiros os métodos consagrados EPIK (Doerfliger e Zwahlen 1998), PI (Goldscheider 2002), DKI (van Beyner e Townsend 2005) e COP (Vías et al. 2006).
- O mapa de risco à contaminação levará em consideração o mapa de vulnerabilidade à contaminação e o mapa de uso e ocupação do solo, com as eventuais localizações de passivos ambientais.
- Serão propostas recomendações para o melhoramento do uso e ocupação das zonas mais vulneráveis à contaminação, como, por exemplo, sugestão de perímetros de proteção de áreas de recargas, de poços e de cavernas (patrimônio espeleológico).

7) Mapas de densidade e confiabilidade de dados:

- A princípio, será desenvolvido de uma matriz que leva em consideração todos os dados levantados no estudo, que serão associados ao grau de detalhamento da informação de cada um, como escala de mapeamento, localização de ensaios com traçadores, análises da qualidade da água etc.
- Para cada mapa-temático serão atribuídos valores conforme o nível de detalhe do dado, considerando as classificações “baixo”, “moderado”, “alto” e “muito alto”.
- Essas classificações serão apresentadas em forma de isolinhas, distribuindo e apontando quais regiões da bacia possuem mais dados e menos dados.
- No final, todos os mapas-temáticos serão interpolados, a partir de ferramentas em ambiente SIG, para gerar um mapa final apontando as regiões que são altamente confiáveis, de acordo com a quantidade e qualidade dos dados, até as regiões que, devido à ausência ou pouca qualidade dos dados, apresentam um nível baixo de confiança.
- Esse mapa final de densidade e confiabilidade de dados tem como objetivo melhorar estratégias de estudos futuros a fim de estes serem mais assertivos.

Resultados a alcançar

- Mapa geológico-estrutural mais detalhado, escala 1:25.000, substituindo o mapa atual da CPRM na escala 1:100.000.
- Mapa espeleológico mais detalhado, escala 1:25.000, atualizando o banco de dados a respeito de localizações de entradas de cavernas, dolinas e sumidouros, surgências e ressurgências.
- Mapa de rotas de fluxos hídricos subterrâneos e superficiais da bacia do rio São Miguel, associado ao mapa de superfície potenciométrica, com dados sobre linhas equipotenciais, direções e velocidades de fluxo hídrico, bem como dados de sinuosidades e graus de carstificação.
- Mapas de vulnerabilidade cárstica e de risco à contaminação da bacia do rio São Miguel.
- Mapa de densidade de dados, com indicativos de zonas do menor ao maior grau de confiabilidade, apontando regiões que futuramente devem ser detalhadas.
- Proposta de gestão integrada preventiva de recursos hídricos e espeleológicos, dando suporte ao Projeto de Monitoramento e Avaliação de Impactos sobre o Patrimônio Espeleológico, do Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas, que atende à demanda do Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico.

Produtos

- Dissertação de mestrado sobre novas rotas de circulação e interconexões entre águas superficiais e subterrâneas na região utilizando traçadores fluorescentes.
- Tese de doutorado sobre caracterização hidrogeológica de sistemas cársticos a partir de respostas temporais de eventos chuvosos em nascentes cársticas: um estudo com base em hidrogramas, quimiogramas e isótopos estáveis.
- Tese de doutorado sobre novo método de mapeamento da vulnerabilidade natural e de risco à contaminação, e matriz de densidade de dados, com indicativos de graus de confiabilidade, como proposta de gestão preventiva integrada de recursos hídricos em região cárstica.
- Disponibilização dos *shapefiles* de mapas temáticos para domínio público.
- Pelo menos, seis publicações científicas em revistas internacionais e/ou nacionais de impacto reconhecido, bem como a participação e publicidade dos resultados em congressos e simpósios.

Cronograma de execução

Este projeto tem previsão a ser realizado durante 48 meses (8 semestres), dividido em nove etapas: 1) aquisição de equipamentos complementares, 2) compilação de dados, 3) mapeamentos geológico-estrutural e espeleológico, 4) estudos com traçadores fluorescentes, 5) estudos com isótopos estáveis, 6) análises de hidrogramas e quimiogramas de nascentes anteriores e novas, 6) desenvolvimento do método de vulnerabilidade natural e de risco à contaminação do aquífero cárstico, 7) mapeamento de densidade e confiabilidade de dados, 8) proposta de gestão integrada preventiva dos recursos hídricos em região cárstica, e 9) redação de relatórios, dissertações, teses e artigos científicos (Tabela 1).

Tabela 1: Cronograma de atividades de pesquisa do projeto.

Atividades	Semestres							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Aquisição de equipamentos	x	x						
2. Mapeamento geológico-estrutural e espeleológico	x	x						
3. Estudos com traçadores fluorescentes		x	x	x	x			
4. Estudos com isótopos estáveis		x	x	x	x	x		
5. Análises de hidrogramas/quimiogramas de nascentes	x	x	x	x				
6. Método de vulnerabilidade natural e risco à contaminação				x	x	x	x	
7. Mapeamento de densidade e confiabilidade de dados				x	x	x	x	
8. Gestão integrada preventiva de recursos hídricos cársticos						x	x	x
9. Redação de relatórios, dissertações, teses e artigos científicos		x	x	x	x	x	x	x

Equipe

Nome	Função no projeto	Instituição	Formação acadêmica	E-mail	Link no Currículo Lattes
Paulo Galvão	Coordenador	UFMG	Doutor	hidropaulo@gmail.com	http://lattes.cnpq.br/9934368457396291
Isabel Paiva	Pesquisadora	Universidade de Coimbra (Portugal)	Doutora	isabelrp@fl.uc.pt	http://lattes.cnpq.br/4236410083184596
Rodrigo de Paula	Pesquisador	UFMG	Doutor	rodrigo.spdm@yahoo.com.br	http://lattes.cnpq.br/9267002332142386
A definir	Mestrando	UFMG	Graduado	-	-
A definir	Doutorando	UFMG	Mestre	-	-
A definir	Doutorando	UFMG	Mestre	-	-

Planejamento financeiro

Item	DIÁRIAS	Qtde	Valor unitário	Valor Total
1	Diárias de Campo	200	R\$ 180,00	R\$ 36.000,00
2	Diárias de Coordenação	30	R\$ 240,00	R\$ 7.200,00
Total				R\$ 43.200,00
Item	MATERIAL DE CONSUMO	Qtde	Valor unitário	Valor Total
1	Combustível	1500	R\$ 8,00	R\$ 12.000,00
2	Aluguel de carro 4x4	30	R\$ 400,00	R\$ 12.000,00
3	Material para coleta de água (frascos, filtros, porta-filtros, caixas de isopor, carvão ativado)	1	R\$ 3.000,00	R\$ 3.000,00
4	Traçador Fluoresceína Sódica (25 km de rotas)	2	R\$ 5.000,00	R\$ 10.000,00
5	Traçador Rodamina WT (25 km de rotas)	2	R\$ 5.000,00	R\$ 10.000,00
Sub-Total				R\$ 47.000,00
Item	MATERIAL PERMANENTE	Qtde	Valor unitário	Valor Total
1	Transdutor (nível d'água, temperatura, condutividade elétrica) - Edge Levellogger LTC 3001 - M30/C80	6	R\$ 18.000,00	R\$ 108.000,00
2	Transdutor barométrico - Edge Barologger LTC 3001 - M1.5	1	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00
3	Rain Sampler RS1 - Coletor de chuva para análise isotópica - garrafão 10 litros	3	R\$ 5.000,00	R\$ 15.000,00
Sub-Total				R\$ 128.000,00
Item	SERVIÇOS PESSOA FÍSICA E JURÍDICA	Qtde	Valor unitário	Valor Total
1	Análises isotópicas de águas de chuva, superficial e subterrânea (18O e D)	150	R\$ 160,00	R\$ 24.000,00
3	Serviços de terceiros (vertedouros/manutenções, medições de vazões etc.)	10	R\$ 2.500,00	R\$ 25.000,00
Sub-Total				R\$ 49.000,00
TOTAL GERAL DO PROJETO SEM TAXAS				R\$ 267.200,00
Item	DESPESAS OPERACIONAIS DE GESTÃO DE PROJETO	Qtde	Valor unitário	Valor Total
1	Taxa de custo fundação gestora do projeto (14%)	1	R\$ 37.408,00	R\$ 37.408,00
2	Taxa de custo UFMG (7,5%)	1	R\$ 20.040,00	R\$ 20.040,00
Sub-Total				R\$ 57.448,00
TOTAL GERAL DO PROJETO COM TAXAS				R\$ 324.648,00

Referências

- Clark I, Fritz P (1997) Environmental isotopes in hydrogeology. CRC Press, New York.
- Doerfliger, N., Zwahlen, F. 1998. Groundwater Vulnerability Mapping in Karstic Regions (EPIK), Practical Guide. Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL). Berne.
- Goldscheider, N. 2002. Hydrogeology and Vulnerability of Karst Systems – Examples from the Northern Alps and Swabian Alp. – PhD thesis, University of Karlsruhe, 229 p.; Karlsruhe.
- Goldscheider, N., & Drew, D. (Eds.). (2007). Methods in Karst Hydrogeology: IAH: International Contributions to Hydrogeology, 26. CRC Press.
- IAEA/WHO (2004) Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. Disponível em: <http://isohis.iaea.org>.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente (2009) Gabinete do Ministro. Portaria nº 358, de 30 de setembro de 2009. Institui o Programa Nacional de Conservação do Patrimônio Espeleológico. Diário Oficial da União, Brasília, 1 out. 2009, Seção 1, n. 188, p. 63-64.
- Martins V T S, Babinski M, Hirata R, Cruz F W, Karmann I (2010) Stable isotopes (18O and 2H) of precipitation in an urban area of São Paulo, southeast Brazil. In: VII South American Symposium on Isotope Geology, Brasília. Anais VII South American Symposium on Isotope Geology.
- Pereira, D.L., Galvão, P., Lucon, T.N., Fujaco, M.A., 2019. Adapting the EPIK method to Brazilian hydro (geo) logical context of the São Miguel watershed to assess karstic aquifer vulnerability to contamination. J. S. Am. Earth Sci. 90, 191 – 203.
- Van Beynen P, Townsend K. 2005. A disturbance index for karst environments. Environ Manage. Jul; 36(1):101-16.
- Vias JM, Andreo B, Perles MJ, Carrasco F, Vadillo I, Jimenez P. 2006. Proposed Method for Groundwater Vulnerability Mapping in Carbonate (Karstic) aquifers: the COP method: Application in Two Pilot Sites in Southern Spain, Hydr. J. 14 (6), p. 1-14.